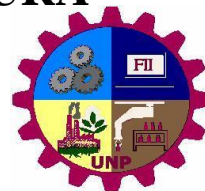




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**Facultad de Ingeniería Industrial  
Escuela Profesional de Ingeniería  
Mecatrónica**



**INFORME DE INVESTIGACION**

**“DIGITALIZACIÓN DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS DE  
LA UNIDAD DE INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE  
VARILLAS MODELO *WM B WILSON MFG CO*”**

**Presentada por:**

**Lara Carrasco Jenner Joham  
Rodriguez Castillo Henry Gabriel**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**Línea de Investigación:**

**Automatización y control**

**Piura, Perú**

**2019**

DIGITALIZACIÓN DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS DE LA UNIDAD  
DE INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE VARILLAS MODELO

*WM B WILSON MFG CO*

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL



.....  
LARA CARRASCO JENNER JOHAM



.....  
RODRIGUEZ CASTILLO HENRY GABRIEL

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN**

Yo: **Jenner Joham Lara Carrasco** identificado con DNI N° **73147833**, Bachiller de Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica**, de la Facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado en **Calle San Ramón 225** del Distrito **Piura**, Provincia **Piura**, Departamento **Piura**, Celular: **954378693** Email: [jennerj.lara@gmail.com](mailto:jennerj.lara@gmail.com)

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que el Informe de Investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura 09 de Noviembre del 2019

**Jenner Joham Lara Carrasco**

**DNI N° 74234980**

**Artículo 411.-** El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

**Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD**

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN**

Yo: **Henry Gabriel Rodriguez Castillo** identificado con DNI N° **74234980**, Bachiller de Escuela Profesional de **Ingeniería Mecatrónica**, de la Facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado en **AA.HH Tacalá Mz B4 lt 15 I etapa** del Distrito **Castilla**, Provincia **Piura**, Departamento **Piura**, Celular: **930667425** Email: [henrygrc93@hotmail.com](mailto:henrygrc93@hotmail.com)

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que el Informe de Investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.  
En fe de lo cual firmo la presente.

Piura 09 de Noviembre del 2019



**Henry Gabriel Rodriguez Castillo**

**DNI N° 74234980**

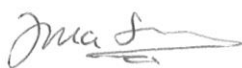
**Artículo 411.-** El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

**Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD**

DIGITALIZACIÓN DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS DE LA UNIDAD  
DE INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE VARILLAS MODELO  
*WM B WILSON MFG CO*



MAG. LUCIANA M. TORRES LUDENA



MAG. JORGE MA SAN ZAPATA



MAG. CARLOS E. COELLO OBALLE



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN PROFESIONAL**



**ACTA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN**

Los miembros del Jurado Calificador del Informe de Investigación denominado **"DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS DE LA UNIDAD DE INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE VARILLAS MODELO WM B WILSON MFG CO"**, presentado por los Bachilleres: **HENRY GABRIEL RODRÍGUEZ CASTILLO, JENNER JOHAM LARA CARRASCO**, participantes del Programa de Actualización para Titulación Profesional en la **ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**, Versión IX 2019-1; asesorados por el Mg. Dubert Reyes Vásquez; habiendo revisado el informe de investigación y absueltas las interrogantes formuladas por el Jurado Calificador, lo declaran:



A PROBADO

Con los calificativos:

- JENNER JOHAM LARA CARRASCO
- HENRY GABRIEL RODRÍGUEZ CASTILLO

BUENO (60)  
BUENO (60)

Piura, 09 de noviembre de 2019

MBA. LUCIANA MERCEDES TORRES LUDENA  
Miembro del Jurado Calificador

MBA. JORGE FLORENTINO MA SAN ZAPATA  
Miembro del Jurado Calificador

Mag. CARLOS ENRIQUE COELLO OBALLE  
Miembro del Jurado Calificador

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN .....	xi
CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del Problema.....	14
1.2.1. Pregunta general .....	14
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	14
1.4. Objetivos .....	15
1.4.1. Objetivo general .....	15
1.4.2. Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Bases teóricas .....	16
2.1.1. Análisis de fallas de varilla de bombeo.....	16
2.1.2. Inspección Electromagnética (EMI) .....	20
2.1.3. Proceso de inspección electromagnética a varillas – SPC.....	22
2.1.4. LabView .....	24
2.1.5. Arduino.....	25
2.2. Glosario de términos básicos.....	29
2.3. Marco Referencial .....	30
2.3.1. Servicios Petroleros y Conexos S.R.L (SPC).....	30
2.3.1.1. Reseña Histórica.....	30
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	32
3.1. Diseño .....	32
3.2. Sujeto de investigación.....	32
3.3. Métodos y procedimientos.....	32
3.4. Técnicas e Instrumentos .....	33
3.4.1. Técnicas de recolección de datos .....	33
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1. Desarrollo de objetivos.....	34
4.1.1. Describir el proceso de inspección electromagnética para adquirir los valores analógicos del estado de la varilla patrón .....	34

4.1.2.	Diseño del sistema para la digitalización de las señales analógicas del proceso de inspección electromagnéticas utilizando el software LabView.....	36
4.1.3.	Analizar las señales de inspección electromagnética de la varilla patrón, obtenidas a través del diseño del sistema digital. ....	42
4.2.	Discusión de Resultados .....	43
CONCLUSIONES .....		44
RECOMENDACIONES .....		45
BIBLIOGRAFÍA .....		46
ANEXOS .....		47
<i>Anexo 01: “Fotografías de inspección electromagnética actual”.....</i>		<i>47</i>
<i>Anexo 02: “Fotografías de componentes deficientes de la unidad”.....</i>		<i>47</i>
<i>Anexo 03: “Reporte de clasificación de varillas por lote”.....</i>		<i>48</i>
<i>Anexo 04: “Reporte diario de varillas”.....</i>		<i>49</i>
<i>Anexo 05: “Falla de inspección electromagnética”.....</i>		<i>50</i>
<i>Anexo 06: “Cuestionario”.....</i>		<i>50</i>
<i>Anexo 07: “Proceso de inspección de varillas – SPC”.....</i>		<i>51</i>
<i>Anexo 08: “Programación de arduino”.....</i>		<i>51</i>
<i>Anexo 09: “Diagrama de bloques de programación completa en software LabView”.....</i>		<i>52</i>
<i>Anexo 10: “Programación de la adquisición de datos a través de arduino”.....</i>		<i>53</i>
<i>Anexo 11: “Prueba de simulación con arduino en la adquisición de datos, verificado con multímetro.”.....</i>		<i>53</i>
<i>Anexo 12: “Diagrama de bloques de Procesamiento de señales”.....</i>		<i>54</i>
<i>Anexo 13: “Almacenamiento de valores en Excel”.....</i>		<i>54</i>
<i>Anexo 14: “Conexión de entradas analógicas”.....</i>		<i>55</i>
<i>Anexo 15: “Pruebas de inspección electromagnética con el sistema digital”.....</i>		<i>55</i>



## RESUMEN

La inspección electromagnética es un método de Ensayos No Destructivos utilizados para detectar los defectos en las varillas de bombeo como las picaduras por corrosión, cortes transversales, fatiga o discontinuidades del material. Entre las empresas dedicadas a brindar dicha inspección se encuentra Servicios Petroleros y Conexos S.R.L (SPC), que basa su procedimiento de inspección en la norma API 11B y RP 11BR. Frecuentemente la unidad de inspección electromagnética modelo *WM B WILSON MFG CO* presenta señales analógicas erróneas, que conllevan a una mala clasificación de varillas, por lo tanto se “Digitalizó las señales de inspección electromagnética”; iniciando con la adquisición de los valores analógicos del estado de la varilla patrón, teniendo en cuenta el principio de funcionamiento de dicha inspección que se basa en la ley de Faraday y donde los sensores captan las corrientes inducidas por el campo de fuga, encontradas las discontinuidades a lo largo de la varilla; de esta forma se analizó y eligió el método para convertir las señales analógicas en señales digitales; luego se desarrolló una interfaz Hombre – Máquina complementado con un adquirente de datos para procesar, visualizar y almacenar las señales digitales con el fin de no hacer uso de los elementos de procesamiento analógico; finalmente se instaló el sistema digital en la unidad electromagnética para ser verificada por un inspector y a través de 3 pruebas con la varilla patrón se logró tener una adecuada inspección digital de la misma.

**Palabras clave:** Inspección, varillas, digitalización, señal.

## **ABSTRACT**

Electromagnetic inspection is a non-destructive test method used to detect defects in pumping rods such as corrosion pitting, cross cuts, fatigue or material discontinuities. Among the companies dedicated to providing such inspection is Servicios Petroleros y Conexos S.R.L (SPC) which bases its inspection procedure on API 11B and RP 11BR. Frequently the electromagnetic inspection unit WM B WILSON MFG CO has erroneous analog signals, which lead to a bad classification of rods, therefore “Electromagnetic inspection signals” were digitized; starting with the acquisition of the analog values of the state of the standard rod, taking into account the principle of operation of said inspection that is based on Faraday's law and where the sensors are responsible for capturing the currents induced by the leakage field found discontinuities of the piece, in this way the method to convert analog signals into digital signals was analyzed and praised; then a Man-Machine interface was developed, complemented with a data acquisition to process, visualize and store the digital signals in order not to use the analog processing elements; Finally, the digital system was installed in the electromagnetic unit to be verified by an inspector and through testing it was possible to have an adequate classification of rods.

**Keywords:** Inspection, rods, digitization, signal.

# INTRODUCCIÓN

Según el (INEI, 2014) “gran parte del Producto Bruto Interno en el Perú proviene del sector hidrocarburos”, por lo que obtener la materia prima es de gran importancia, en ello se utilizan diversos procesos, destacando la extracción por bombeo; en dicho proceso tiene entre las herramientas principales las varillas de bombeo, y éstas son constantemente sometidas a inspección.

Una de las principales empresas dedicadas a brindar los servicios de inspección es Servicios Petroleros y Conexos S.R.L (SPC), basando su procedimiento en la norma API 11B y RP 11BR; para efectuar la inspección completa a las varillas de bombeo con Ensayos No Destructivos (END) como:

- Inspección visual cercana.
- Inspección con partículas magnéticas (MPI)
- Tintes penetrantes, entre otros.

La Unidad de inspección electromagnética modelo *WM B WILSON MFG CO*, eventualmente presenta señales analógicas erróneas, las cuales conllevan a una mala representación gráfica del estado del cuerpo de la varilla y a su vez una dudosa clasificación de las mismas; en búsqueda de solucionar dicho problema se propuso desarrollar un proyecto que permita generar dichas señales analógicas de manera digital para lo que se optó por un adquisidor de datos, los cuales permitan captar valores de la inspección electromagnética y representarlas en una pantalla.

El proyecto se inicia con el estudio del principio de funcionamiento de dicha inspección que se basa en la ley de Faraday, donde la pieza a inspeccionar se somete a inducción de flujo magnético y los sensores que son pequeñas bobinas captan corrientes inducidas por el campo de fuga emitidas por las discontinuidades de la pieza; para ello tanto los sensores o la pieza deben estar en movimiento y así se logre obtener la variación de campo magnético.

Conocido el principio se continúa con la adquisición de los valores de tensión por medio de un multímetro, para ello se sometió a pruebas una varilla patrón (varilla de calibración), la cual contiene discontinuidades a lo largo y alrededor de su cuerpo, permitiendo a cada una de las zapatas (sensores) capte las variaciones de tensión producidas por la inducción magnética. Las señales analógicas procedentes de las zapatas para ser convertidas en señales digitales requiere de la implementación de una primera etapa, un adquisidor de datos; teniendo como función adquirir las señales de las zapatas enviadas a la unidad modelo *WM G WILSON MFG CO* para luego ser procesadas en el software LabView y por ultimo a través de cable USB hacia la PC; en una segunda etapa se diseñó una aplicación basado en labview, en el cual se crea la interfaz hombre-máquina, en

ella se puede manipular la activación de cada zapata, variar la ganancia de las señales y observar en dos graficas las señales del estado de la varilla; a la vez estas señales son almacenada en un documento Excel. Por último se realiza la prueba de validación teniendo como unidad de calibración una varilla patrón, así se reafirma tanto las señales digitales del nuevo sistema y los datos almacenados en documento Excel coinciden exitosamente en la representación gráfica.

Con el nuevo sistema digital se tiende a realizar nuevas innovaciones como la lograr un sistema inteligente, el cual clasifique las varillas automáticamente sin la necesidad de un inspector, al mismo tiempo ir almacenando los reportes de las inspecciones realizadas en el día, mes y año; de esta forma gerencia y las áreas competentes tendrían un acceso rápido y directo a dicho datos.

# CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

## 1.1.Descripción de la realidad problemática.

La Empresa Servicios Petroleros y Conexos S.R.L. (SPC) cuenta con diferentes Bases de trabajo en la provincia de Talara; ésta presta el servicio de inspección de varillas de bombeo, mediante diferentes métodos de Ensayos No Destructivos (END), entre ellos se encuentra la inspección electromagnética, el cual permite detectar la corrosión, cortes transversales y discontinuidades en el cuerpo de las varillas. SPC, Base El Alto, tiene dentro de sus máquinas de inspección la Unidad Electromagnética WM B WILSON MFG CO que inspecciona aproximadamente 300 varillas diarias, las cuales son clasificadas de acuerdo a la normal API 11B.

El proceso de inspección electromagnética se inicia con la magnetización de la varilla, luego a través de la inducción electromagnética unas zapatas captan valores de tensión, estos son transmitido a una consola donde se amplifican y filtran, por último se representa gráficamente el estado de la varilla sobre un papel, en el cual se inyectan tinta líquida por medio de unas agujas que son manipulados por unos galvanómetros.

Cuando los sensores detectan un defecto en el cuerpo de una varilla, registran una señal que se transmite a los galvanómetros y estos generan una variación en la gráfica del papel; frecuentemente se obtiene señales analógicas erróneas de la inspección, por ende una mala representación gráfica de las varillas, debido a diferentes factores como:

- Daño en las placas de amplificación y filtro de la señal.
- Daños mecánicos internos del galvanómetro.
- Obstrucción de la agujas.
- Traslado discontinuo del rollo de papel.

Estos problemas ocasionan una mala clasificación y obligan al inspector que verifique personalmente la varilla defectuosa, aplicando otros métodos de inspección, lo cual no permiten cumplir la meta de inspección diaria.

Por esta razón se desarrollará una aplicación que actuará directamente con un adquisidor de datos para captar la señal procedente de las zapatas, luego se procesará la señal, finalmente se obtendrá la representación gráfica de las señales con estado de la varilla de forma digital en una pantalla y los datos obtenidos de la inspección serán almacenados en un documento Excel.

Con este proyecto se pretende a modo experimental realizar pruebas para comprobar que se puede digitalizar las señales analógicas bajo condiciones establecidas, y así sirva de base para futuros proyectos de investigación que se puedan implementar, a fin de eliminar las señales erróneas

encontradas en el proceso de inspección electromagnética, así mismo a dejar de utilizar rollos de papel, tinta, motores y galvanómetros.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cómo se digitalizará las señales analógicas de la unidad inspección electromagnética de varillas modelo WM B WILSON MFG CO?

## **1.3. Justificación e importancia de la investigación.**

- Justificación

Con el desarrollo del proyecto de digitalización de señales analógicas de la unidad de inspección electromagnética modelo WM B WILSON MFG CO se busca demostrar que se puede llevar a cabo la conversión de señales analógicas a digital, dando inicio a futuras investigaciones que busquen validar el sistema para ser implementadas en el proceso de inspección que la unidad viene realizando en la empresa SPC; tal como se muestra en el *Anexo 01: “Fotografías de inspección electromagnética actual”*, con la finalidad de sustituir los componentes que presentan problemas en el sistema actual, éstos se muestran en el *Anexo 02: “Fotografías de componentes deficientes de la unidad”*, y así permitir al inspector tener una representación gráfica de cada varilla a inspeccionar sin errores, generando una mayor confianza en el proceso de inspección y una mejora en cumplimiento de las metas diarias de la empresa.

- Importancia

Con la investigación se busca complementar la unidad de inspección actualizando el proceso de representación gráfica del estado de las varillas, ya que esta etapa del proceso de inspección es fundamental y de gran importancia para su clasificación según los reportes que se presentan en los *Anexo 03: “Reporte de clasificación de varillas por lote”* y *Anexo 04: “Reporte diario de varillas”* respectivamente, debido a que depende de la clasificación de las mismas el uso que el cliente les dará en los servicios de extracción de crudo de petróleo en los diferentes pozos de la ciudad, reduciendo en riesgo de ruptura de éstas, en las que pueda verse afectada la integridad física de los empleados y el medio ambiente.

## **1.4.Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Digitalizar las señales analógicas de la unidad de inspección electromagnética de varillas modelo *WM B WILSON MFG CO.*

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir el proceso de inspección electromagnética para adquirir los valores analógicos del estado de la varilla patrón.
- Diseñar del sistema para la digitalización de las señales analógicas del proceso de inspección electromagnéticas utilizando el software LabView.
- Analizar las señales de inspección electromagnética de la varilla patrón, obtenidas a través del diseño del sistema digital.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Bases teóricas**

#### **2.1.1. Análisis de fallas de varilla de bombeo**

(Company, 2007) según su informe sostiene que el análisis de las fallas de la varilla de bombeo es un reto y se necesita poder esperar lo obvio y buscar pistas de lo que no es tan obvio. Todo el personal de producción debería tener un conocimiento y capacitación adecuados en el análisis de la causa raíz de las fallas. Entender cómo identificar las fallas y sus factores contribuyentes, nos permite un entendimiento de qué se requiere para corregir la causa de la falla.

Se deben tomar las medidas que se puedan para eliminar las fallas prematuras de la varilla de bombeo. Los programas de capacitación continuos, concernientes a las varillas de bombeo, deberían incluir foros, formales e informales que aconsejen el cumplimiento de las recomendaciones de los fabricantes, para los procedimientos del diseño, almacenamiento y transporte, mantenimiento y manipulación, instalación y reinstalación y los procedimientos de enrosque y desenrosque.

- **Mecanismos de las fallas**

Todas las fallas de las varillas de bombeo, varilla corta y de acoples son fallas por tensión o fatiga. Las fallas por tensión ocurren cuando la carga aplicada excede la resistencia a la tensión de la varilla. Para evitar las fallas por tensión, el indicador de peso máximo utilizado, para una varilla de bombeo en condiciones “como nueva”, nunca debería exceder el 90% de la fuerza de ruptura para la dimensión y grado conocidos de la varilla de bombeo de diámetro más pequeño.

Las fallas por fatiga son progresivas y comienzan como pequeñas grietas por esfuerzo que crecen bajo la acción de los esfuerzos cíclicos. Los esfuerzos asociados con esta falla, tienen un valor máximo que es menor que la resistencia a la tensión del acero de la varilla de bombeo.

Las fallas por fatiga son iniciadas por una multitud de elevadores de esfuerzo. Los elevadores de esfuerzo son discontinuidades visibles o microscópicas que causan un aumento del esfuerzo local en la sarta de varillas durante la carga. Los elevadores de esfuerzos visibles típicos, en las varillas de bombeo, varillas cortas y acoples son inflexiones, corrosión, grietas, daños mecánicos, roscas y desgaste o cualquier combinación de lo anterior.





**Figura 01: Fallas por tensión y fatiga.**

- **Fallas de diseño y operación**

La prevención de las fallas de la varilla de bombeo comienza con el diseño. Es posible que las sarta de varillas deficientemente diseñadas contribuyan a las fallas de otros componentes del sistema de levantamiento artificial, tales como el corte de los tubos de la varilla, como resultado de cargas compresoras de la varilla. Para el diseñador del sistema hay disponibles numerosas combinaciones de profundidades, tamaños de los tubos, volúmenes de fluido, tamaños y configuraciones de las bombas, tamaños y geometrías de las unidades de bombeo, longitudes de las carreras, velocidades de bombeo y ahusamientos de las sarta de varillas. Un buen diseño inicial puede convertirse en un diseño deficiente si cambian las condiciones del pozo.

Los cambios en el volumen de los fluidos, el nivel de los fluidos, la longitud de la carrera, las carreras por minuto o el tamaño de las bombas, impactan con severidad el sistema total de extracción artificial. El desgaste abrasivo causa las fallas de la sarta de varillas al reducir la sección transversal del metal y expone la superficie del metal nuevo a la corrosión y causa las fallas en la conexión de la varillas de bombeo por impacto y daño del reborde.



**Figura 02: Desgaste abrasivo.**

- **Fallas mecánicas**

Las fallas mecánicas son responsables de un gran porcentaje del número total de todas las fallas de las sargas de varillas. Las fallas mecánicas incluyen todos los tipos de fallas, excepto las fallas por corrosión y los defectos de fabricación. El daño mecánico a la sarga de varillas contribuye a un elevador de esfuerzo, el cual causará las fallas de las varillas de bombeo. El momento de la falla estará motivado por muchas variables, de las cuales, el esfuerzo máximo, el ambiente de la operación, la orientación del daño, la química de la varilla de bombeo, el tipo de tratamiento con calor de la varilla de bombeo, el margen del esfuerzo y el tipo de daño, serán los más importantes. El daño mecánico puede ser causado por el diseño ineficaz del elevador artificial, procedimientos inadecuados de cuidado y manipulación, procedimientos descuidados de montaje y desconexión, prácticas de operación discontinuadas o cualquier combinación de estos elementos.

- **Fallas de las varillas por flexión**

Las fallas de fatiga por flexión son responsables de un considerable número de todas las fallas mecánicas. Es un hecho que todas las varillas de bombeo doblada, eventualmente fallan.

Las varillas de bombeo nuevas son fabricadas con una rectitud de cuerpo de no menos de 1/16 de pulgada en cualesquier doce pulgadas de longitud del cuerpo de la varilla. Cualquier grado de flexión mayor que éste, causará un aumento del esfuerzo local en el punto de flexión, durante la carga aplicada. Cuando el cuerpo de la varilla doblada es jalado en forma recta durante la carga, se alcanza rápidamente la resistencia de rotura del material. El ciclo de exceder continuamente la resistencia de la rotura del material, es repetida durante el ciclo de bombeo y causa fisuras de fatiga por esfuerzo en el lado cóncavo de la flexión.

Estas fisuras de fatiga por esfuerzo progresan a través de la barra durante la carga, hasta que no quede suficiente metal en la barra, para sostener la carga y ocurre la fractura.



**Figura 03: Fatiga por flexión.**

- **Fallas de fatiga por corrosión**

La corrosión es uno de los mayores problemas que se encuentran en los fluidos producidos y es responsable por casi los dos tercios de todas las varillas de bombeo. La corrosión es el resultado destructor de una reacción electroquímica entre el acero utilizado para hacer varillas de bombeo y el medio ambiente de la operación al que están sometidas.

La corrosión es la forma en que la naturaleza revierte un material de un estado de energía más alto (acero), hecho por el hombre, a su condición básica (mineral natural), tal como fue hallado en la naturaleza.

Todos los ambientes del fondo del pozo son corrosivos hasta cierto grado. Algunos fluidos corrosivos pueden ser considerados no corrosivos si la tasa de penetración de la corrosión, registrada en mm (milímetros) de pérdida de espesor por año (mpy), es lo suficiente baja, que no causará problemas. Sin embargo la mayoría de los pozos en producción están plagados con problemas de corrosión y ninguna varilla de bombeo fabricada en la actualidad puede soportar con éxito, sola, los efectos de esta corrosión.



**Figura 04: Corrosión por ácido.**

### 2.1.2. Inspección Electromagnética (EMI)

- **Principio de funcionamiento**

(Acosta, 2017) según su investigación, cuando una pieza ferromagnética se le somete a la acción de un campo magnético  $H$ , se induce en dicha pieza un flujo magnético, cuyo valor depende de la permeabilidad del material. Cuando las líneas de flujo magnético encuentran a su paso una discontinuidad en la pieza, estas líneas se deforman y salen de la pieza formando un campo de fuga. Los campos de fuga generados por las discontinuidades son detectados por los sensores.

Para el caso de tubos de perforación los sensores son bobinas pequeñas en movimiento a los cuales los campos de fuga les inducen corriente. Los sensores o tubos deben estar en movimiento, ya que la ley de Faraday dice:

$$V = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

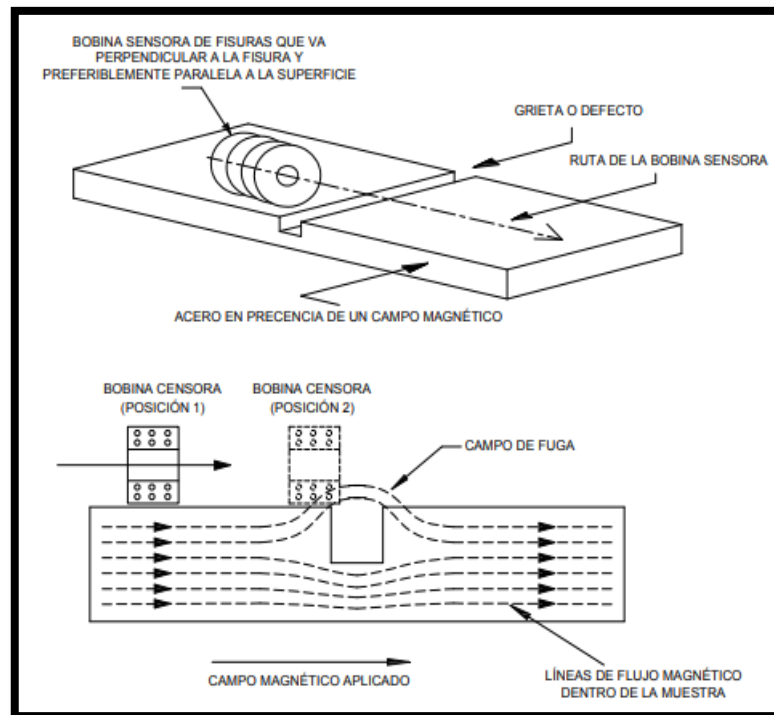
$V$ : voltaje inducido en la bobina

$N$ : número de espiras.

$\Phi$ : flujo magnético que pasa a través de la bobina.

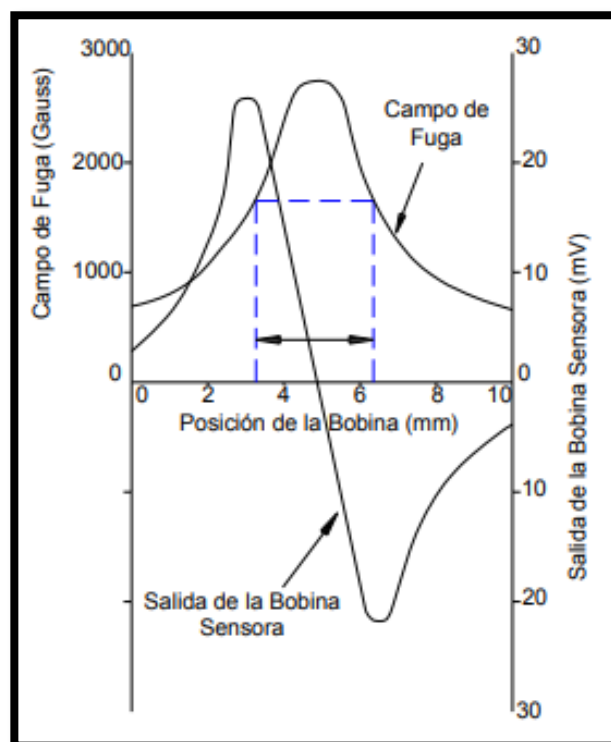
$\frac{d\Phi}{dt}$ : Rapidez con que varía el flujo magnético.

Y las variaciones de campo magnético se produce cuando el sensor y la bobina se mueve, porque si quedaran fijos, no habría cambio en el flujo magnético, solo habría cambio cuando el sensor pase por una discontinuidad o por un campo de fuga.



**Figura 05: Principio de método de campo de fuga usando una bobina sensor.**

El voltaje recibido en la bobina es registrado, obteniéndose una señal como se indica en la figura:



**Figura 06: Voltaje de salida de la bobina sensor y campo de fuga.**

### **2.1.3. Proceso de inspección electromagnética a varillas – SPC**

(SPC, 2008) según el informe de procedimiento una vez efectuado la segregación visual de varilla (descartando las inoperativas), después de haberse efectuado una limpieza profunda de la superficie externa eliminando restos de parafina y carbonato adheridos, se procederá a la inspección electromagnética.

Efectuar inspección de funcionamiento de rodillos de arrastre, linealidad de la unidad, ubicación correcta de zapatas sensoras de acuerdo al diámetro de varillas a inspeccionar; la muestra de varillas de calibración deberá contar con sus respectivos huecos (notch) simulados uno para cada zapata sensor.

Efectuar calibración respectiva con la varilla de prueba para determinar la operatividad de cada sensor efectuando ajustes respectivos en cada canal en forma independiente pero a la vez todos los sensores registrará una misma amplitud de señal que identifique al inspector que éstos funciones correctamente ante cualquier variación de campo magnético ocasionado por picadura por corrosión, cortes transversales, fatiga de material, o discontinuidades e imperfecciones originados durante la fabricación de la varilla, etc.

La varilla de prueba debe ser para cada diámetro de varilla y debe tener 25' máximo de longitud con discontinuidades no tan cerca de 3' de cada extremo con espacios separados entre cada uno de ellos de 1' y deberán ser cónicos, cuya profundidad de 0.030" el primer pit con incremento de 0.010" hasta 0.100" y de diámetro de 0.030", verificado debidamente con un profundímetro, estos pits debe ser ubicado en forma recta, una fila por cada zapata.

Este proceso de calibración se efectuará antes del inicio del jornal diario, después de 50 varillas, cuando se efectúa algún cambio, reparación electrónica, después de que sospeche que la unidad no está funcionando correctamente para el cual se tendrá que volver a inspeccionar todas las varillas, cuando se cambia de operador y cuando se cambia de diámetro de varilla.

Cada vez que la varilla a inspeccionar registre alguna señal en la consola mediante el sistema electromagnético cuya amplitud sea de la magnitud tal que amerite un verificación cuantitativa del defecto mediante el uso de instrumentos auxiliares de inspección como el profundímetro, se debe poner especial cuidado y esmero en este proceso para comprobar que tipo de defecto es y se tomará registro de profundidad y características de la falla.

La clasificación a tomar en cuenta con todos los datos registrados se hará en función a la norma API 11BR sección 6 pág. 15 y/o de acuerdo a la norma estandarizada por el cliente.

Clase I:

- a) Ningún visible desgaste en el cuerpo y zona del espejo.
- b) Picaduras o cortes menores de hasta 0.020” de profundidad son permisibles.

Clase II:

- a) Desgaste de hasta el 20% del área seccional.
- b) Picaduras o cortes de hasta 0.040”.
- c) Varillas con torceduras que tengan más del doble de lo permitido para varillas nuevas, deben ser rechazadas.

Clase III:

- a) Puede tener desgaste de hasta 30% del área seccional pasando esta tolerancia, será rechazado.
- b) Picaduras o cortes hasta 0.060” de profundidad más de esto, será rechazado.
- c) Torceduras no tan severas pueden ser enderezados en frio.
- d) Picaduras, cortes o cualquier otro defecto no tan severo que ocurren a 1/3 del cono hacia arriba del upset puede ser ignorado.

Todas las varillas que no reúnan los criterios arriba mencionados deben ser rechazadas.

La clasificación de las varillas debe ser como sigue en la siguiente tabla:

**Tabla 01: Clasificación de varillas.**

CLASE	FRANJA PINTURA	PICADURA CORTE MAXIMO	DESGASTE %MAX SECC TRANS	TORCEDURAS(KINDS) DOBLADURA (BEND)
<b>I</b>	Uno	0.020”	0	Ninguna
<b>II</b>	Dos	0.040”	20	No más del doble de los permitido para varillas nuevas
<b>III</b>	Tres	0.060”	30	Dobladuras que puedan ser enderezados en frio
<b>IV</b>	una (roja)	>0.060”	>30	Demasiado torcido

**Fuente: Procedimiento 001- Inspección de tubos y Varillas.**

#### 2.1.4. LabView

(Moreno Velazco & Sanchez Ortega, 2008) En su libro sostiene que a diferencia de un instrumento real, que podemos tener en cualquier laboratorio o planta de procesos, y que queda perfectamente definido por unos mandos de control y unos elementos de representación, un instrumento virtual estará ligado al concepto de software. Este software se ejecutará en un ordenador que tendrá alojado unos elementos hardware concretos, tarjetas de adquisición de datos (analógicos y digitales), tarjetas de interfaz con los buses de instrumentación y unos canales de control también analógicos y digitales.

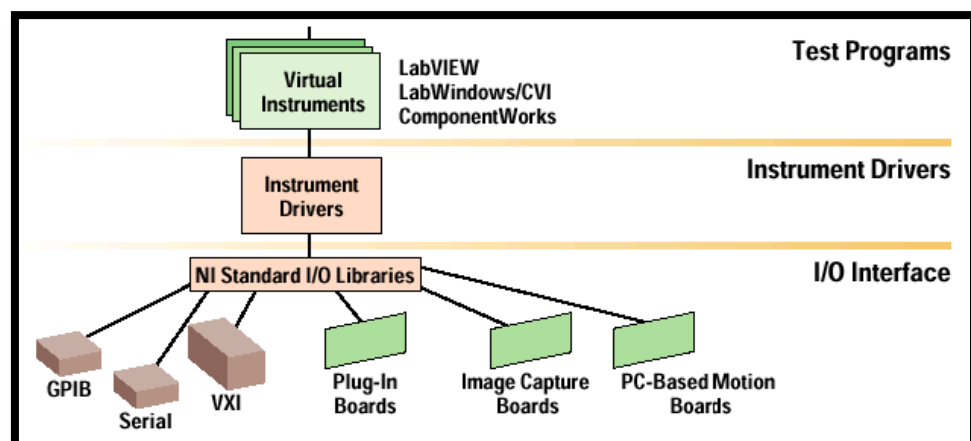
Nuestro instrumento virtual permitirá manejar ese hardware mediante una interfaz gráfica de usuario (IGU) que se asemejará al panel de mandos de los aparatos habituales (Osciloscopio, multímetro, etc.)

Mediante la representación en pantalla de los elementos gráficos de visualización y control que servirán de interfaz con el usuario, este observará los estados de las entradas seleccionadas en la pantalla e interactuará con las salidas directamente o mediante la ejecución de las rutinas que haya programado.

- **Estructura del software**

Básicamente, el software se encargará de comunicar la interfaz de usuario del ordenador con el hardware de adquisición de datos dotando a la aplicación de la funcionalidad requerida.

Podemos realizar una separación de las capas o partes del software: Programa de aplicación, controladores de dispositivo (drivers) y librerías de aplicación (API's).



**Figura 07: Estructura de software.**



- **Programa de aplicación**

El programa de aplicación, también llamado instrumento virtual, consta de dos partes: interfaz de usuario y funcionalidad de la aplicación:

- ✓ **IGU (interfaz gráfica de usuario)**

- Permite la interacción de la aplicación con el usuario.
- Básicamente consta de controles e indicadores para visualización e introducción de datos.
- La mayoría de entornos de programación disponen de librerías de controles e indicadores creados que evitan una gran cantidad de trabajo al usuario.

- ✓ **Funcionalidad de la aplicación**

- Una de las funciones básicas será la de obtener datos del hardware de forma transparente al usuario.
- La funcionalidad del programa incluye tratamiento de señal, control del flujo de programa, control de errores, etc.
- Puede implementarse en lenguajes basados en texto (Visual Basic, C++, LabWindows/CVI, etc.) o puede utilizar lenguaje gráfico como LabView, Snap Master, DasyLab, HP-VEE, Visual Designer de Burr Brown, etc.

- **Programación gráfica con LabView**

Los procesos programables se definirán mediante un lenguaje gráfico en vez de un lenguaje orientado a líneas de código como estamos acostumbrados normalmente. En este tipo de programación las funciones son bloques que se interconectan entre sí, intercambiando la información.

### 2.1.5. Arduino

(ARDUINO, 2019) Indica que el Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida: activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Puede decirle a su placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en el cableado) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.

Ventajas:

Barato: las placas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de microcontroladores. La versión menos costosa del módulo Arduino se puede ensamblar a mano.

Multiplataforma: Las carreras de Arduino Software (IDE) en Windows, Macintosh OS X, y Linux. La mayoría de los sistemas de microcontroladores están limitados a Windows.

Entorno de programación simple y claro: el software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiantes, pero lo suficientemente flexible como para que los usuarios avanzados también lo aprovechen. Para los maestros, está convenientemente basado en el entorno de programación de procesamiento, por lo que los estudiantes que aprendan a programar en ese entorno estarán familiarizados con el funcionamiento del IDE de Arduino.

Software de código abierto y extensible: el software Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponibles para su extensión por programadores experimentados. El lenguaje se puede ampliar a través de las bibliotecas de C ++, y las personas que deseen comprender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino al lenguaje de programación AVR C en el que se basa. Del mismo modo, puede agregar el código AVR-C directamente en sus programas Arduino si lo desea.

Hardware de código abierto y extensible: los planes de las placas Arduino se publican bajo una licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, extenderlo y mejorarlo. Incluso los usuarios relativamente inexpertos pueden crear la versión del módulo de prueba para comprender cómo funciona y ahorrar dinero.

#### ✓ **Arduino mega 2560**

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560. Tiene 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar.

- **Especificaciones técnicas:**

**Tabla 02: Especificaciones técnicas - Arduino Mega 2560**

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de E / S digitales	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente CC para Pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101,52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	37 g

**Fuente: Arduino.** <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

- **Entrada y salida**

Cada uno de los 54 pines digitales en el Mega se puede usar como entrada o salida, usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()` y `digitalRead()`. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de funcionamiento recomendada y tiene una resistencia pull-up interna (desconectada por defecto) de 20-50 k ohm. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe superarse para evitar daños permanentes al microcontrolador.

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX); Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL. Los pines 0 y 1 también están conectados a los pines correspondientes del chip serie ATmega16U2 USB a TTL.

Interrupciones externas: 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3) y 21 (interrupción 2). Estos pines se pueden configurar para activar una interrupción en un nivel bajo, un borde ascendente o

descendente, o un cambio de nivel. Vea la función `attachInterrupt ()` para más detalles.

PWM: 2 a 13 y 44 a 46. Proporcione una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite ()`.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines admiten la comunicación SPI utilizando la biblioteca SPI. Los pines SPI también se dividen en el encabezado ICSP, que es físicamente compatible con Arduino / Genuino Uno y las antiguas placas Duemilanove y Diecimila Arduino.

LED: 13. Hay un LED incorporado conectado al pin digital 13. Cuando el pin tiene un valor ALTO, el LED está encendido, cuando el pin está BAJO, está apagado.

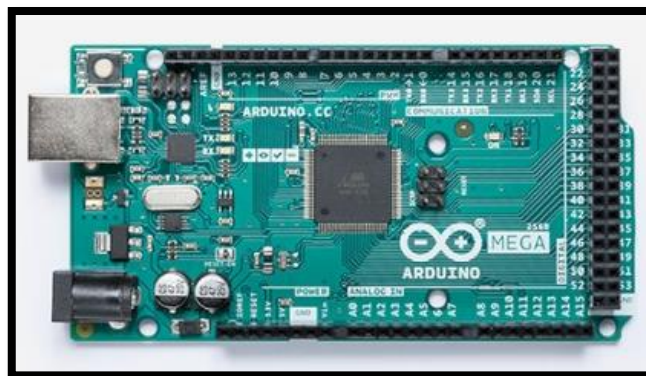
TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL). Admite la comunicación TWI utilizando la biblioteca Wire . Tenga en cuenta que estos pines no están en la misma ubicación que los pines TWI en las viejas placas Duemilanove o Diecimila Arduino.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto miden desde tierra (GND) hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango utilizando el pin AREF y la función `analogReference ()`.

Hay un par de otros pines en el tablero:

AREF. Tensión de referencia para las entradas analógicas. Usado con `analogReference ()`.

Reset. Traiga esta línea BAJA para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se usa para agregar un botón de reinicio a los escudos que bloquean el que está en el tablero.



**Figura 08: Tarjeta Arduino Mega 2560**

## 2.2. Glosario de términos básicos.

- **Calibración:** El ajuste de instrumental a una referencia básica conocida trazable con frecuencia a la oficina nacional de estándares. (Norma API Practica Recomendada 7G-2, 2009)
- **Campo Magnético:** Es una región del espacio en la cual una carga eléctrica puntual que se desplaza, sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular a su desplazamiento. (Barco Rios, Rojas Calderon, & Restrepo Parra, 2012)
- **Corrosión:** Desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos. (Academia, 2019)
- **Defecto:** Una imperfección de suficiente magnitud para garantizar el rechazo del producto basado en las estipulaciones de esta especificación. (Norma API 5CT, 1998)
- **Ensayos No Destructivos (END):** Prueba realizada a un material, mediante la aplicación de fenómenos físicos de modo que no se alteran las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de la parte examinada. (SPC, Procedimiento 004 - Ensayos No Destructivos , 2008).
- **Falla:** Desempeño impropio de un dispositivo o equipo que previene la conclusión de su función de diseño. (Norma API Practica Recomendada 7G-2, 2009)
- **Falla por fatiga:** Una falla que se origina como resultado de esfuerzos repetitivos o fluctuantes que tienen valores menores que la resistencia a la tensión del material. (Norma API Practica Recomendada 7G-2, 2009)
- **Galvanómetro:** Instrumento que detecta una corriente muy débil que lo recorra. (Tipler, 2006)
- **Inspección:** Proceso de medición examinación, probado, calibración, u otro tipo de comparación la unidad del producto contra los requerimientos aplicables. (Norma API 5CT, 1998)
- **Interfaz:** Conexión física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones. (Academia, 2019)
- **Magnetización:** Acción y efecto de magnetizar. (Academia, 2019)

- **Reporte de trabajo diario:** Documento en cual se registran las cantidades de material ingresado al Patio de Inspección, material devuelto, resultados de la inspección de Tubos y Varillas, otros. (SPC, Procedimiento 001- Inspección de tubos y varillas, 2008)
- **Sensor:** Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. (Areny, 2003)
- **Software:** Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora. (Academia, 2019)
- **Varilla de bombeo:** Herramienta utilizada en el proceso de bombeo para la extracción de la materia prima en los pozos petroleros.

## 2.3. Marco Referencial

### 2.3.1. Servicios Petroleros y Conexos S.R.L (SPC)

#### 2.3.1.1. Reseña Histórica

Servicios Petroleros y Conexos es una empresa que brinda servicios de limpieza mecánica de parafina con alambre (Wire Line); Tratamientos Químicos, Inspección mediante Ensayos No Destructivos; Transporte de flota pesada; Mecanizado de herramientas de perforación y otras; Construcción Metal-Mecánica y otras dentro de la industria petrolera y afines; destacando su presencia en el rubro petrolero para operaciones de Mar y Tierra (offshore & onshore).

SPC viene destacando sus actividades desde el año 1982. Actualmente contamos con un staff de profesionales y técnicos especializados en los diferentes servicios que ofrecemos. Así mismo, contamos con equipos e instrumentos con tecnología moderna que garantizan la calidad en el desarrollo de las más altas exigencias de nuestros clientes. Cabe resaltar que trabajamos en conjunto con BAKER, en la venta y servicio de productos químicos.

Nuestras certificaciones ISO 14001 y OHSAS 18001 nos motiva a trabajar pensando en el desarrollo y en la mejora continua de nuestras actividades, en nuestras Bases Operativas: La Brea - Negritos y El Alto – Talara – Piura, o en las zonas donde el cliente lo solicite.

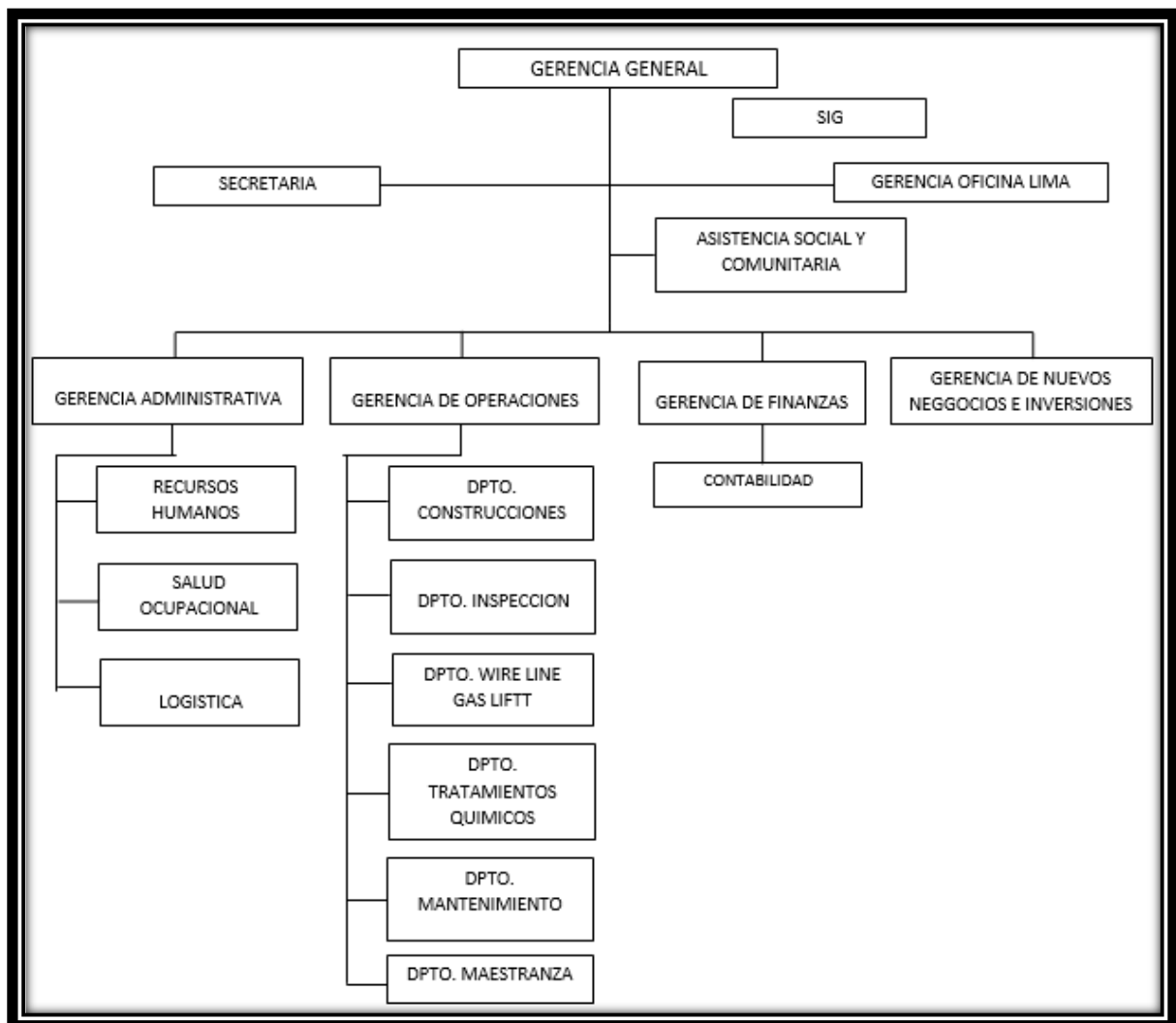
### 2.3.1.2. Misión

Desarrollo de servicios a la Industria Petrolera con orientación a los mercados nacionales e internacionales con calidad y rentabilidad, a fin de lograr la satisfacción de los clientes; cuidando y preservando en medio ambiente.

### 2.3.1.3. Visión

Ser una empresa líder en la prestación de servicios a la industria Nacional, en especial, a la industria Petrolera; manteniendo altos estándares de: calidad, seguridad, competitividad y una política responsable del cuidado del Medio Ambiente.

### 2.3.1.4. Organigrama Estructural



Fuente: Servicios Petroleros y Conexos S.R.L

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño

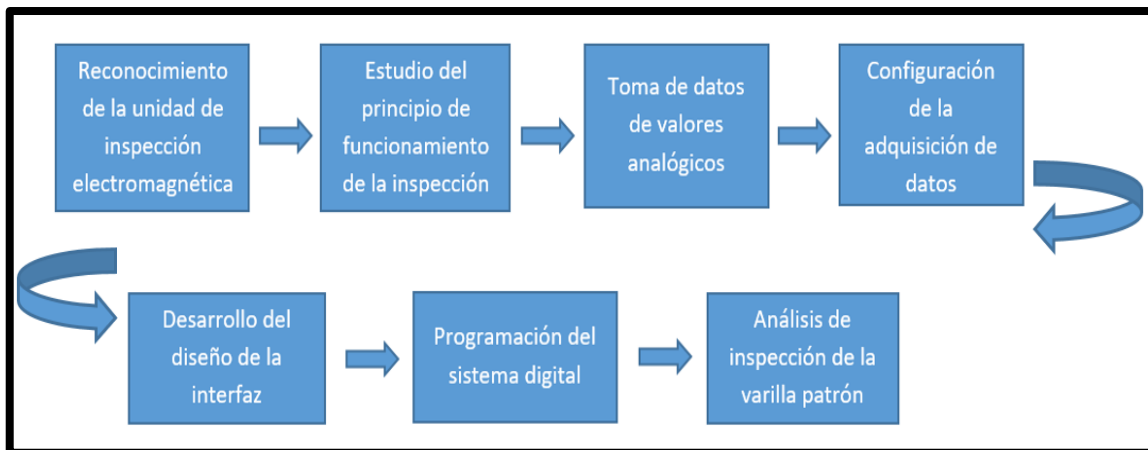
El diseño del proyecto de investigación es de tipo Cuantitativo Experimental; ya que se llevarán a cabo 3 pruebas de inspección de varilla patrón en la unidad electromagnética tanto en su estado actual y pruebas con el adquisidor de datos y la aplicación de la interfaz hombre-máquina.

### 3.2. Sujeto de investigación

La Unidad de Ensayos No Destructivos modelo *WM B WILSON MFG CO* de la Empresa Servicios Petroleros y Conexos – Base El Alto.

### 3.3. Métodos y procedimientos

- **Diagrama del proceso de digitalización de la unidad de inspección electromagnética modelo *WM B WILSON MFG CO***



**Figura 09: Diagrama de bloques**

a. Reconocimiento de la unidad de inspección electromagnética

Se realiza una indagación al personal a cargo del proceso acerca de la unidad de END con la finalidad de conocer su importancia, funcionamiento, elementos que la conforman, proceso para la representación gráfica y fallas comunes de ésta.

b. Estudio del principio de funcionamiento de la inspección

Se estudia el principio de funcionamiento de la inspección a fin de conocer las magnitudes y las unidades de medida que conllevan al desarrollo del fenómeno físico, el cual permite obtener valores de las señales analógicas.



c. Toma de valores analógicos

Conociendo el principio de funcionamiento de la inspección, se elige el equipo de medición para la toma de valores, así mismo determinar el lugar donde se realizarán dichas tomas.

d. Configuración de la adquisición de datos

Elegido el adquisidor de datos que permite captar señales analógicas, se procede a programarlo para posteriormente poder procesar y acondicionar las señales.

e. Desarrollo del diseño de la interfaz

Una vez programado el adquisidor de datos se inicia el desarrollo de la interfaz en la que se interactúe con el proceso de inspección.

f. Programación del sistema digital

Generada la interfaz hombre-máquina, se genera la programación en bloques del software en la que se lleva a cabo la comunicación con la PC para la visualización de pruebas digitales de la varilla patrón.

g. Análisis de la inspección de la varilla patrón.

Desarrollado el proyecto se lleva a cabo pruebas con el nuevo sistema digital de inspección de tal manera que se analice las gráficas generadas de la varilla patrón.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos**

#### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos es la entrevista, puesto que se desconoce el funcionamiento de la unidad y se indagará para poder conocer los errores de falla que presenta la unidad electromagnética en la representación gráfica de la inspección; la cual es evidenciada en el *Anexo 05: “Falla de inspección electromagnética”*.

#### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

El cuestionario, ya que se elaboran una serie de preguntas con el propósito de conocer el proceso de inspección electromagnética y plantear una posible solución. Dicho cuestionario se encuentra en el *Anexo 06: “Cuestionario”*

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Desarrollo de objetivos

#### 4.1.1. Describir el proceso de inspección electromagnética para adquirir los valores analógicos del estado de la varilla patrón

- **Descripción de la unidad de inspección electromagnética WM B WILSON MFG CO**

Es una unidad de registro gráfico en papel, el cual consta de una bobina que al aplicarle una corriente eléctrica genera un campo magnético paralelo al eje longitudinal de la varilla, esto permite detectar defectos en los cuerpos de las varillas mediante zapatas sensoras, tales imperfecciones pueden ser: cortes, corrosión, fracturas, erosión, etc.

Dentro del proceso de inspección de varillas, la unidad electromagnética aplica el último ensayo no destructivo, tal como se muestra en el *Anexo 07: "Proceso de inspección de varillas"*, en la cual se analiza la gráfica de la inspección y se procede a su clasificación.

La unidad electromagnética está dividida en 2 partes:

- ❖ **Estructura:** Contiene la parte mecánica del sistema de arrastre de varillas, bobina magnetizadora y las zapatas sensoras.
- ❖ **Consola:** Contiene el sistema de mando (encendido/apagado de la unidad, activación de zapatas y sus ganancias, regulación del amperaje de la bobina magnetizadora, velocidad de traslado del papel), sistema electrónico (filtros y amplificación de la señal), galvanómetros y sistema de traslado del papel.



**Figura 10: Partes de unidad electromagnética WM B WILSON MFG CO.**

▪ **Procedimiento de operación de la unidad electromagnética**

1. Encendido de los controles eléctricos de la unidad de inspección (consola y sistema de arrastre de varillas).
2. Activación de la zapatas sensoras.
3. Regulación del amperaje de la bobina magnetizadora.
4. Activación y regulación de la velocidad del sistema de arrastre del papel.
5. Calibración de la unidad electromagnética de acuerdo al diámetro de la varilla a procesar.
  - Ingreso de la varilla patrón al sistema de arrastre.
  - Regulación de las ganancias de las zapatas.
6. Ingreso de las varillas a inspeccionar.
7. Análisis de la gráfica de las señales determinando los defectos en la varilla.
8. Toma de datos de la inspección registrados en un reporte diario de trabajo.
9. Clasificación las varillas.

▪ **Procedimiento para adquisición de la gráfica de varillas:**

1. Magnetización de la varilla mediante la activación de la bobina magnetizadora, de esta forma se genera el fenómeno físico.
2. Captación del estado del cuerpo de la varilla a través de cuatro zapatas sensoras ubicadas alrededor de la misma, las cuales internamente contienen una bobina que permiten captar los campos de fuga generado por las discontinuidades o defectos del cuerpo de la varillas para luego ser convertidas en señales eléctricas análogas en valores de mili-voltios.
3. Tratamiento de las señales analógicas por medio de placas electrónicas de amplificación y filtros ubicadas en la consola.
4. Representación gráfica del estado de la varillas, se genera mediante el acondicionamiento de las cuatro señales de las zapatas para uso de dos galvanómetros los cuales manipulan unas agujas que inyectan tinta líquida sobre una papel que se traslada continuamente. Es decir cuando los sensores detectan un defecto en el cuerpo de una varilla, registran una señal que se transmite a los galvanómetros y estos generan una variación en la gráfica del papel.

- **Toma de los valores de voltaje de la señal analógica:**

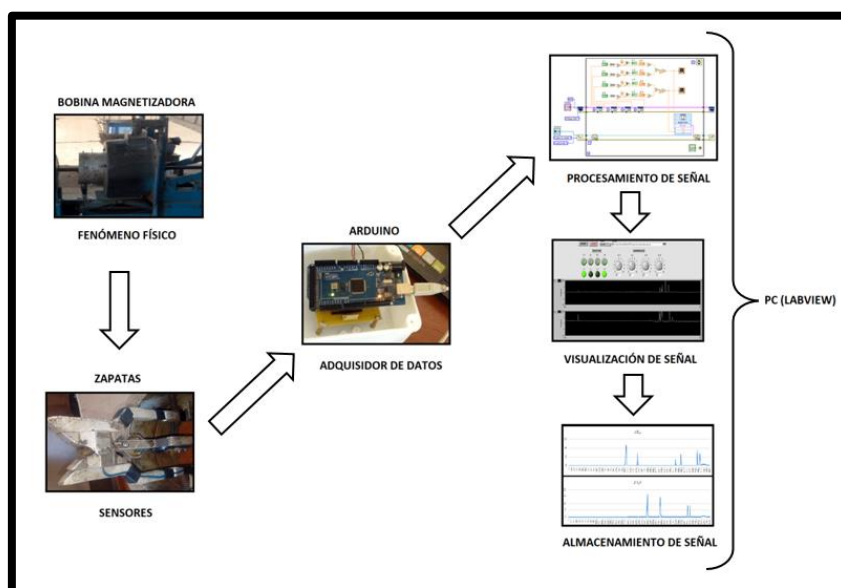
Basado en el principio de funcionamiento, el cual indica que los valores emitidos por las zapatas sensoras están dados en unidades de medidas de milivoltios, se eligió un multítester como equipo de medición ya que cumple con lo requerido. Se procedió a tomar en la unidad los valores de las señales que indican los sensores.

Para las pruebas se utilizó una varilla patrón, en el cual se observó cómo actúan cada una de las zapatas a lo largo de la inspección de la varilla y las variaciones de tensión que se generan al encontrar un defecto, logrando adquirir los valores requeridos para el desarrollo del proyecto.



**Figura 11: Toma de los valores de voltaje (mV).**

#### 4.1.2. Diseño del sistema para la digitalización de las señales analógicas del proceso de inspección electromagnéticas utilizando el software LabView



**Figura 12: Diagrama del proceso de digitalización de la señal electromagnética .**

El Software de LabView permite crear interfaces para controlar y visualizar procesos, así mismo tiene compatibilidad con tarjetas electrónica que contienen entradas y salidas de señales analógica y digitales logrando interactuar con los elementos del procesos, es por ello que se optó por dicho software para poder llevar a cabo la representación gráfica digital de la inspección electromagnética.

En el diseño de la aplicación se consideró en cada una de las cuatro zapata un switch para activarlas y desactivarlas, un potenciómetro de ganancia para la sensibilidad en la inspección y un LED indicador cuando el voltaje sea diferente de cero; en la representación gráfica se utilizó dos bloques para visualizar las señales del estado de la varilla; también las opciones de seleccionar el puerto de comunicación del arduino y la ruta de búsqueda de archivos para guardar la inspección realizada.



**Figura 13: Interfaz de la inspeccion electromagnetica.**

- **Procedimiento para desarrollo de la interfaz:**

- ✓ **Adquisidor de datos**

Para captar las señales analógicas se dispuso del uso de un Arduino Mega 2560, ya que cuenta con un puerto de entradas analógicas que captan voltajes entre cero y cinco voltios, de esta forma se cumple con lo requerido para la toma de valores del proceso, así mismo por ser compatible con Labview para el desarrollo de la interfaz hombre-máquina.

El adquirente de datos cumple un factor importante dentro del proceso de la digitalización de las señales de la inspección electromagnética debido a que es el encargado de captar valores de la señal eléctrica analógica procedente de los sensores y transformarla en un número digital equivalente a la misma, así mismo de debe fijar una frecuencia de muestreo, es decir se programa un tiempo fijo de toma de valores. Obtenido el valor numérico de la señal se envía como dato a la PC mediante un cable USB para ser procesada en el software Labview.

#### ✓ **Compatibilidad Labview - Arduino**

Previamente el arduino es programado para habilitar el puerto analógico utilizado en el sistema, como se muestra en el *Anexo 08: “Programación de arduino”*.

En la PC se instala Toolkit VI Package Manager, este programa sirve de comunicación entre labview y arduino; consigo se instala la librería de arduino en labview para realizar interfaces gráficas de forma fácil y rápida.

#### ✓ **Programación en Labview:**

Para la programación en el software labview se usó diferentes bloques como: compuertas, bloques de lectura y almacenamiento, entre otros; de esa forma se desarrollando una programación completa desde la adquisición de señales analógica pasando por un procesamiento de las mismas y logrando representar la inspección por un medio digital, tal y como se muestra en el *Anexo 09: “Diagrama de bloques de programación completa en software LabView”*.

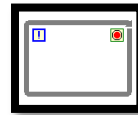
##### ▪ **Etapas de la programación**

#### ✓ **Adquisición del voltaje**

El desarrollo de la programación de la adquisición de datos se muestra en el *Anexo 10: “Programación de la adquisición de datos a través de arduino”*, donde se indica el entorno gráfico y de programación; así mismo se muestra en el *Anexo 11: “Prueba de simulación con arduino en la adquisición de datos, verificado con multímetro”*, una prueba de adquisición de datos con valor en milivoltios mostrado en labview y contrastado con un multímetro.

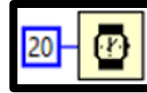
A continuación se muestran los bloques utilizados para adquisición de datos y sus respectivas configuraciones:

- Estructura “While Loop”, para realiza bucles de interacción.



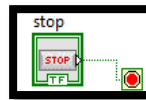
**Figura 14: Estructura While Loop.**

- Bloque “Reloj”, cada 20 ms se repite el bucle.



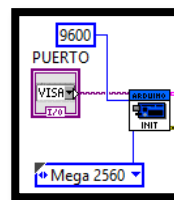
**Figura 15: Bloque Reloj.**

- Bloque “stop”, para finalizar o salir del bucle.



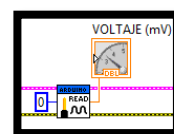
**Figura 16: Botón Stop.**

- Configuración de Arduino: Bloque “Init”, se le asigna los parámetros:
  - Puerto de comunicación: Configurado desde el entorno gráfico (control).
  - Velocidad de transmisión: 9600 (constante).
  - Tipo de tarjeta Arduino: Mega 2560 (constante).
  - Numero de bits de los paquetes de comunicación: 15 bit (por defecto)
  - Tipo de puerto de comunicación: USB/serial (por defecto)



**Figura 17: Bloque Init – Arduino**

- Bloque de lectura de señal analógica “Analag Read Pin”, se configura:
  - Entrada (pin): Constante (0)
  - Salida: Indicador de Voltaje



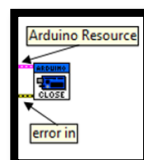
**Figura 18: Bloque Analag Read Pin – Arduino.**

- Bloque “Close” – Arduino, para finalizar la etapa de adquisición del arduino.



**Figura 19: Bloque Close – Arduino.**

- Cableado de los buses de conexión entre módulos.



**Figura 20: Buses de conexión.**

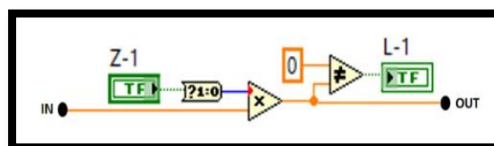
### ✓ Tratamiento de las señales

Se estable en el sistema de digitalización cuatro gráficos que representen los potenciómetros los cuales permitan regular y establecer la calibración de la unidad; al ser digital las ganancias son fijas y solo cambiaran cuando se modifique o varié el potenciómetro.

Se procede a realizar el tratamiento de las cuatro señales de las zapatas, amplificando y luego acondicionado en dos gráficas para su visualización. Como se muestra en el *Anexo 12: “Diagrama de bloques de Procesamiento de señales”*.

A continuación se describe la programación establecida para el tratamiento de la señal:

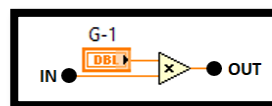
- La salida de la señal del pin del arduino se multiplica por el factor uno (activación) o cero (desactivación) provenientes del switch, luego pasa a una comparación donde sí es diferente de cero se activa el led, como representación de la variación del voltaje.



**Figura 21: Activación de sensores.**

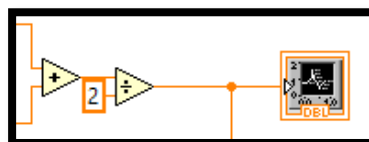
- Para la amplificación de la señal, se multiplica las señales por las ganancias (potenciómetros) manipulables en el entorno gráfico.





**Figura 22: Amplificación de señal.**

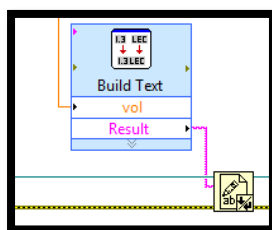
- Por último se acondiciona dos señales en un bloque para su visualización.



**Figura 23: Acondicionamiento de visualización.**

#### ✓ Almacenamiento de datos en Excel

Se declara un bloque de texto de LabView compatible con el documento Excel que permite registrar los datos adquiridos anteriormente; lo que se representa en un gráfico para verificar la concordancia de la inspección digital con los valores almacenados, lo que se muestra en el *Anexo 13: “Almacenamiento de valores en Excel”*.



**Figura 24: Configuración de almacenamiento Excel.**

#### ▪ Aplicación (acceso directo)

Terminado la programación y para finalizar el desarrollo de la interfaz se generó la aplicación, donde sea interactúa específicamente con lo diseñado y solo con las opciones de control y visualización de las señales la inspección electromagnética.

#### **4.1.3. Analizar las señales de inspección electromagnética de la varilla patrón, obtenidas a través del diseño del sistema digital.**

Se inició con el cableado de los terminales de las zapatas sensoras hacia a los pines del arduino seleccionados para el proceso de inspección y la conexión del cable de datos del arduino a la PC, como se muestra en *Anexo 14: “Diagrama de conexiones eléctricas”*.

En la aplicación se seleccionó el puerto de comunicación del arduino y el direcciono del archivo para el almacenamiento de los datos de la inspección. Luego se procedió a inspeccionar las varillas patrón, activando la zapatas y variando las ganancias con el fin de calibración del sistema digital.

Posteriormente se realizaron 3 pruebas con una varilla patrón a nivel de laboratorio es decir modo experimental bajo condiciones iniciales como:

- Corriente de magnetización de 2 amperios.
- Velocidad de inspección 1pie/seg.
- Sin el funcionamiento de otra maquinas en paralelo a la unidad electromagnética, a fin de evitar interferencias o ruidos externos.

Todos los procedimientos llevados a cabo demuestran que las señales analógicas de la unidad electromagnética modelo *WM B WILSON MFG CO* pueden ser digitalizadas. Además dichas señales son almacenadas en archivo Excel, lo que encamina a una data histórica para futuras inspecciones de varillas en la que se pueda controlar y verificar su clasificación. Pruebas se muestran en *el Anexo 15: “Pruebas de inspección electromagnética con el sistema digital”*.

## 4.2. Discusión de Resultados

Las pruebas realizadas para adquirir los valores analógicos de la inspección electromagnética a una varilla patrón, se muestran en la Figura 11, evidenciando los distintos valores de voltaje en milivoltios generados a lo largo de la varilla, además de los picos de voltaje cuando se detecta un defecto o discontinuidad, dichas tensiones son proveniente de las zapatas sensoras y tomados a través de un multítester; de esta forma se afirma lo expuesto en el principio de funcionamiento de la unidad de inspección electromagnética donde basa en la ley de Faraday y explica que cuando las líneas de flujo magnético encuentran a su paso una discontinuidad en la pieza, estas líneas se deforman y salen de la pieza formando un campo de fuga, los cuales son detectados por los sensores.

Para la obtención valores analógico a través de un adquisidor de datos se realizaron pruebas teniendo como generador de valores analógicos de voltaje a un circuito eléctrico, las cuales se muestran en el Anexo 11, evidenciando que dichos valores son adquiridos por un arduino mega 2560 y mostrados en la pantalla de la PC, al mismo tiempo son comprobados mediante un multítester; con dichas pruebas se afirma las especificaciones técnicas del arduino mega 2560 donde indica que tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes) y por defecto miden desde tierra (0) hasta 5 voltios.

Desarrollado la programación en el software Labview, mostrado en el Anexo 09, se evidencia la compatibilidad con arduino a través de su librería y bloques de programación para la adquisición de datos, así mismo el tratamiento y visualización de señales, y también el almacenamiento de éstas en Excel; además instalado el sistema digital en la unidad de inspección electromagnética se realizaron pruebas con una varilla patrón obteniendo como resultados, lo mostrado en Anexo 15, en el que se evidencia la visualización del estado de la varilla y las representaciones de las discontinuidades; por lo tanto se afirma lo indicado en la teoría de Labview, definiendo su programación mediante un lenguaje gráfico, en este tipo de programación las funciones son bloques que se interconectan entre sí, intercambiando la información, entre sus funciones se tiene la obtención datos del hardware de forma transparente, tratamiento de señal, control del flujo de programa, control de errores, finalmente permite la interacción con el usuario mediante la representación en pantalla de los elementos gráficos de visualización y control .

## CONCLUSIONES

1. Se demostró que al captar las señales analógicas por medio del adquisidor de datos Arduino mega 2560 y establecida una comunicación con el software LabView en el que se procesa, visualiza y almacena la señal, se puede representar de forma digital la inspección electromagnética de la varilla de la unidad modelo WM B WILSON MFG CO.
2. El estudio del principio de funcionamiento de la unidad electromagnética permitió identificar y comprobar la unidad de medida en milivoltios para la toma de los valores de las señales analógicas emitidas por las zapatas sensoras.
3. El desarrollo de la interfaz con el software labview bajo su programación en bloques y junto al arduino mega 2560 como adquisidor de datos se logra la lectura, procesamiento, visualización y almacenamiento de señales analógicas.
4. Las pruebas de inspección realizadas a una varilla patrón con el sistema digital instalado en la unidad de inspección electromagnética, se obtuvo la representación gráfica de las discontinuidades que se presentan en el cuerpo de ésta.

## **RECOMENDACIONES**

- Elaborar un estudio técnico donde se pueda incluir un nuevo adquisidor de datos, el cual tenga compatibilidad con LabView y la robustez para su implementación en el sector hidrocarburos, con el fin de comparar los resultados con los obtenidos por el arduino mega 2560.
- Realizar pruebas variando los parámetros tomados en este proyecto como son el amperaje, velocidad de inspección de la varilla y el no funcionamiento de máquinas en paralelo, para evaluar los efectos causados por éstos en el sistema digital.
- Validar técnicamente el sistema de digitalización, basándose en el procedimiento 001 de inspección de tubos y varillas – SPC, en las que se realicen como mínimo 50 inspecciones continuas de varillas y se obtenga un alto grado de confiabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

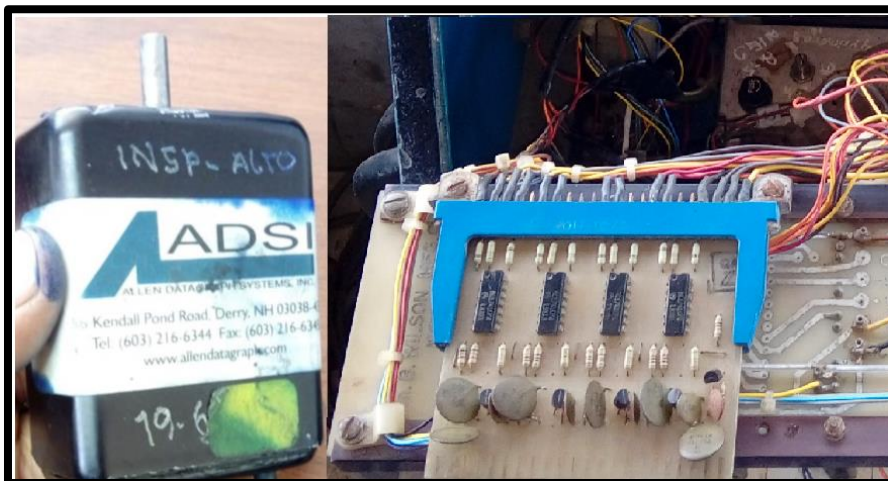
- Academia, R. (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/corrosion?m=&e=>
- Academia, R. (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/?w=interfaz>
- Academia, R. (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/?w=magnetizaci%C3%B3n>
- Academia, R. (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/?w=software>
- Acosta, W. y. (2017). *Optimización de procedimiento de inspección para tubería de perforación (drill pipe), tubería de producción (tubing) y tubería de revestimiento (casing) de pozos petroleros utilizando ensayos no destructivos (Proyecto de titulación)*.
- ARDUINO, C. (2019). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Areny, R. P. (2003). *Sensores y Acondicionadores de señal, 4ta Edición*. España.
- Barco Rios, H., Rojas Calderon, E., & Restrepo Parra, E. (2012). *Principios de electricidad y magnetismo*. colombia.
- Company, N. A. (2007). *Análisis de fallas de varillas*. EE.UU.
- INEI. (2014). *INEI*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/busqueda/?tbusqueda=SECTOR+HIDROCARBUROS>
- Moreno Velazco, I., & Sanchez Ortega, P. L. (2008). *Prácticas de instrumentacion electronica- labview V6.2*. España.
- Norma API 5CT, s. E. (1998). *Especificación para revestimiento y producción*. EE.UU.
- Norma API Practica Recomendada 7G-2, P. E. (2009). *Practica Recomendada para la inspección y clasificación de los elementos del conjunto de perforacion usados*. EE.UU.
- SPC. (2008). *Procedimiento 001- Inspección de tubos y varillas*. Talara, Piura, Perú.
- SPC. (2008). *Procedimiento 004 - Ensayos No Destructivos*. Talara, Piura, Perú.
- Tipler, P. A. (2006). *Fisica Universitaria, volumen II*. EE.UU.

## ANEXOS

*Anexo 01: “Fotografías de inspección electromagnética actual”.*



*Anexo 02: “Fotografías de componentes deficientes de la unidad”.*



Anexo 03: "Reporte de clasificación de varillas por lote".

# SPC

*Servicios Patentes y Comercio S.R.L.*

## REPORTE DE INSPECCION DE VARILLAS POR LOTE

Lote : \_\_\_\_\_

Fecha : 06/11/17

Cliente: \_\_\_\_\_

Guia SPC : \_\_\_\_\_

Orden PTB: \_\_\_\_\_

Pozo : 640 2a 03

Cant. Inspecc.: 84

Diámetro : 7/8 x 22

Num	Crack	Corr.	Dupe	S/M	Docu	Pin	Color	Grado	Longit	Cople Mado	Observaciones
1							an	/			
2							an	/			
3							an	/			
4							an	/			
5							an	/			
6							an	/			
7							an	/			
8							an	/			
9							an	/			
0			x				an	/			
1							an	/			17 24.25%
2							an	/			
3			x				an	/			
4			x				an	/			
5			x				an	/			
6			x				an	/			
7			x				an	/			
8							an	/			
9							an	/			
0			x				an	/			
1			x				an	/			
2			x				an	/			
3			x				an	/			
4			x				an	/			
5			x				an	/			
6			x				an	/			
7			x				an	/			
8			x				an	/			
9			x				an	/			
0			x				an	/			
1			x				an	/			
2			x				an	/			
3			x				an	/			
4			x				an	/			
5			x				an	/			
6			x				an	/			
7			x				an	/			
8			x				an	/			
9			x				an	/			
0			x				an	/			



Anexo 04: "Reporte diario de varillas".

**SPC**  
Sistema Planificado y Controlado

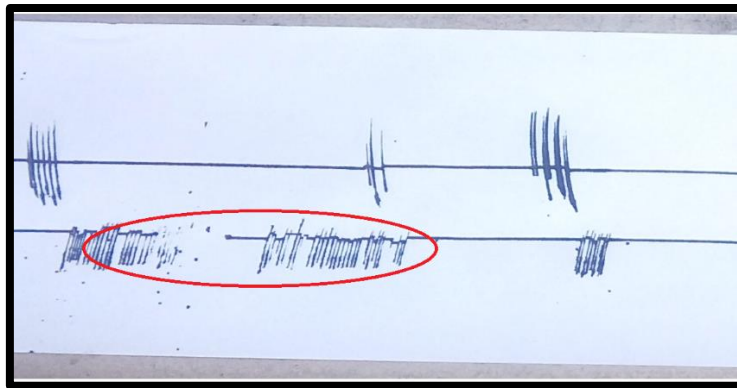
**RESUMEN DIARIO DE INSPECCION DE VARILLAS**

FORM. 06 NOV 2019

ID	PZDO	RAF	TOTAL	ARMELLLOS		AZULES		VERDES		REJECT	RF	CM		COM		TOTAL SURTO		REPROCESO	
				C	D	C	D	C	D			TT	SB	TT	SB	REPRO	REPRO		REPRO
98	6012	147	50							0.5									
99	6013	243	70																
	6014	0410	104																
	6012	147	70																
	6014	0410	30																
99	6013	243	81																
	6014	0410	92																
	6012	147	50																
	6014	0410	30																
100	6013	243	81																
	6014	0410	92																
	6012	147	50																
	6014	0410	30																
101	6013	243	81																
	6014	0410	92																
	6012	147	50																
	6014	0410	30																

Observaciones:

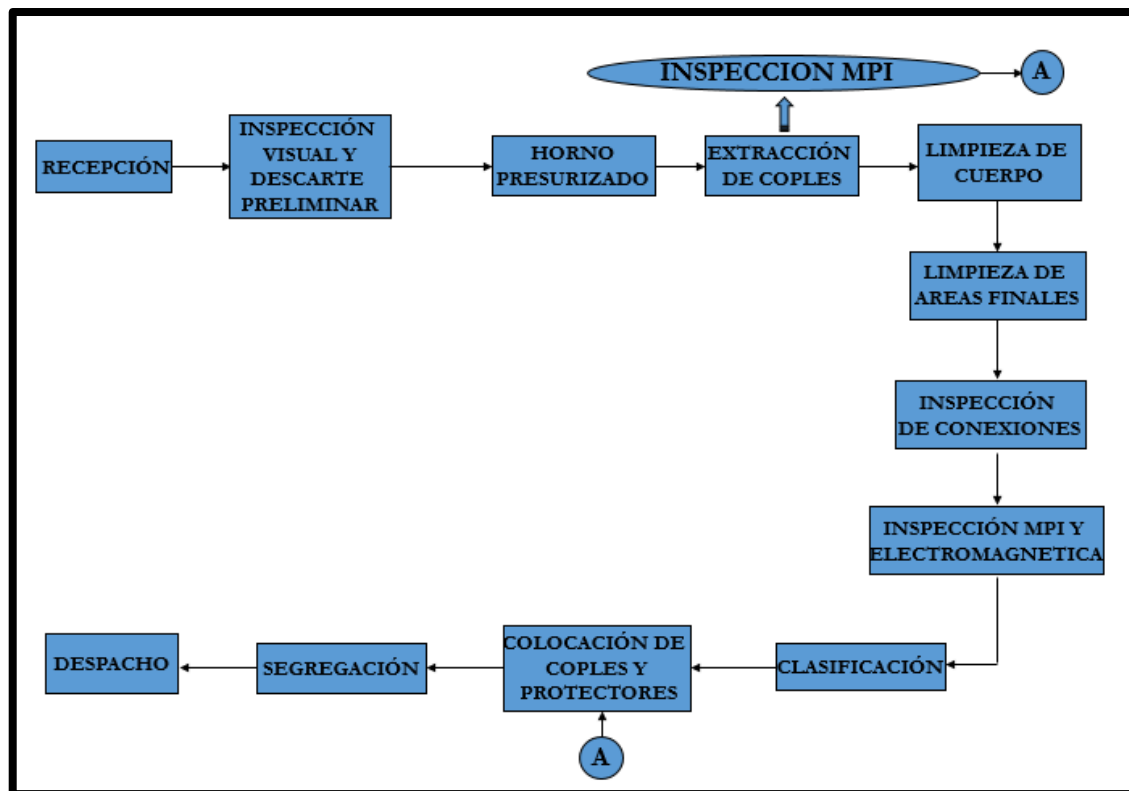
*Anexo 05: “Falla de inspección electromagnética”.*



*Anexo 06: “Cuestionario”.*

1. ¿Cuál es la importancia de la unidad electromagnética en el proceso de inspección de varillas?
2. ¿Cuál es su procediendo de operación de la unidad electromagnética?
3. ¿Qué elementos conforman la unidad electromagnética?
4. ¿Cómo se obtiene la representación gráfica del estado de la varilla?
5. ¿Cuál es su funcionamiento de cada una de los elementos que conforman la unidad electromagnética?
6. ¿Cuáles son las fallas más frecuentes en la unidad electromagnética?

Anexo 07: "Proceso de inspección de varillas – SPC"



Anexo 08: "Programación de arduino".

```
LIFA_Base

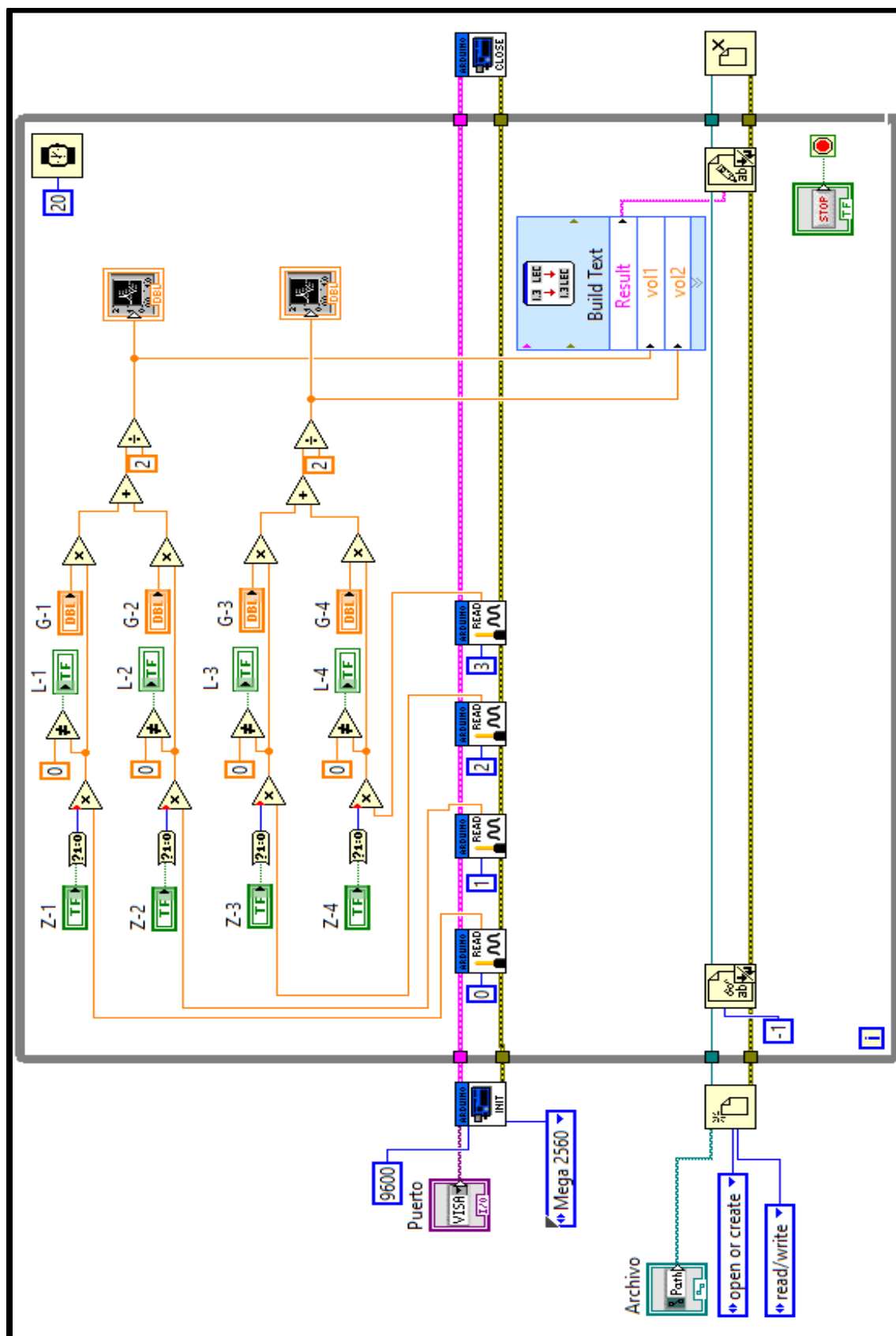
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

void setup()
{
    syncLV();
}

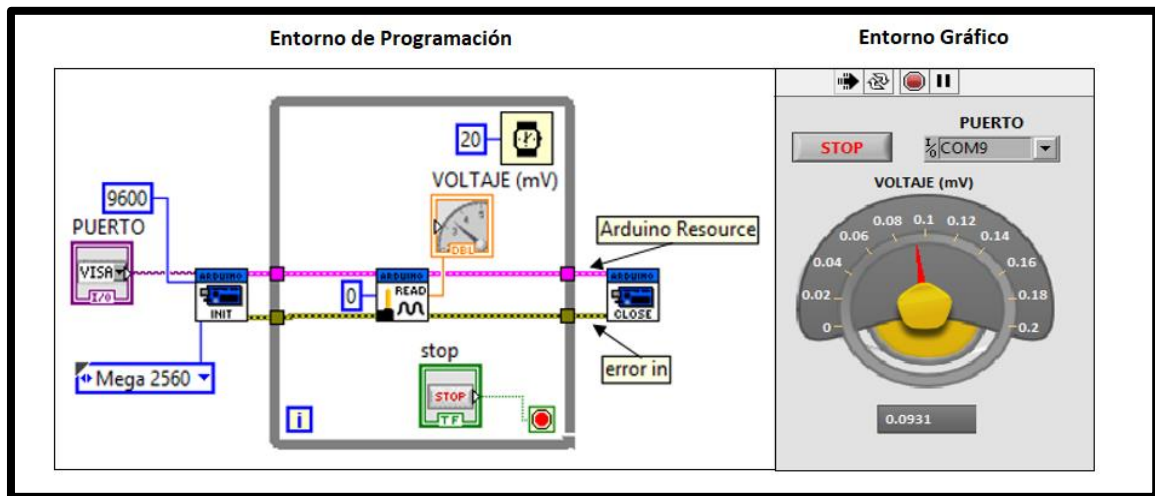
void loop()
{
    checkForCommand();

    if(acqMode==1)
    {
        sampleContinuously();
    }
}
```

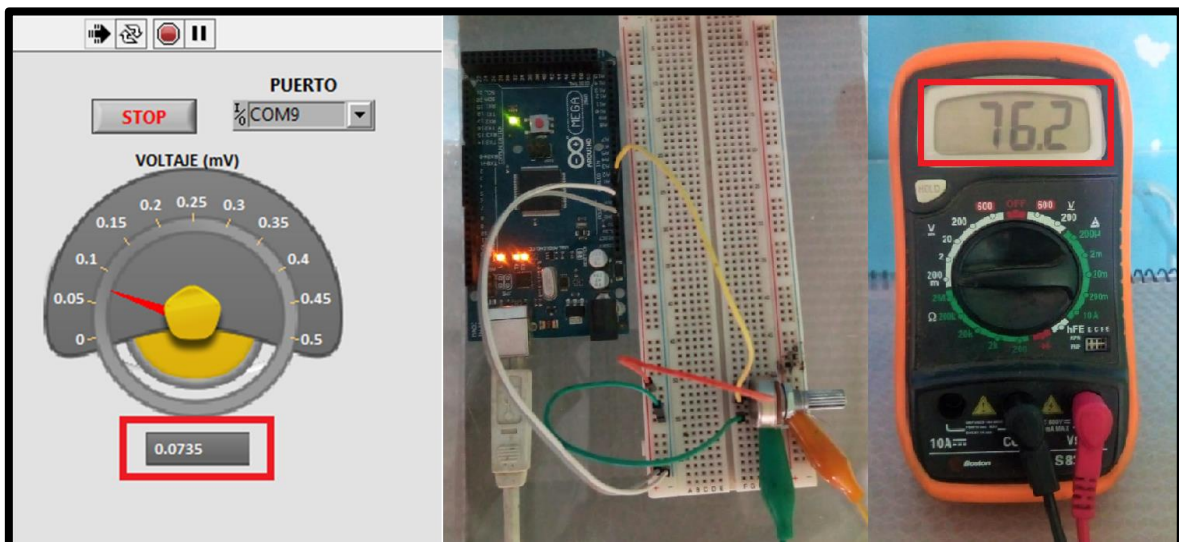
Anexo 09: “Diagrama de bloques de programación completa en software LabView”.



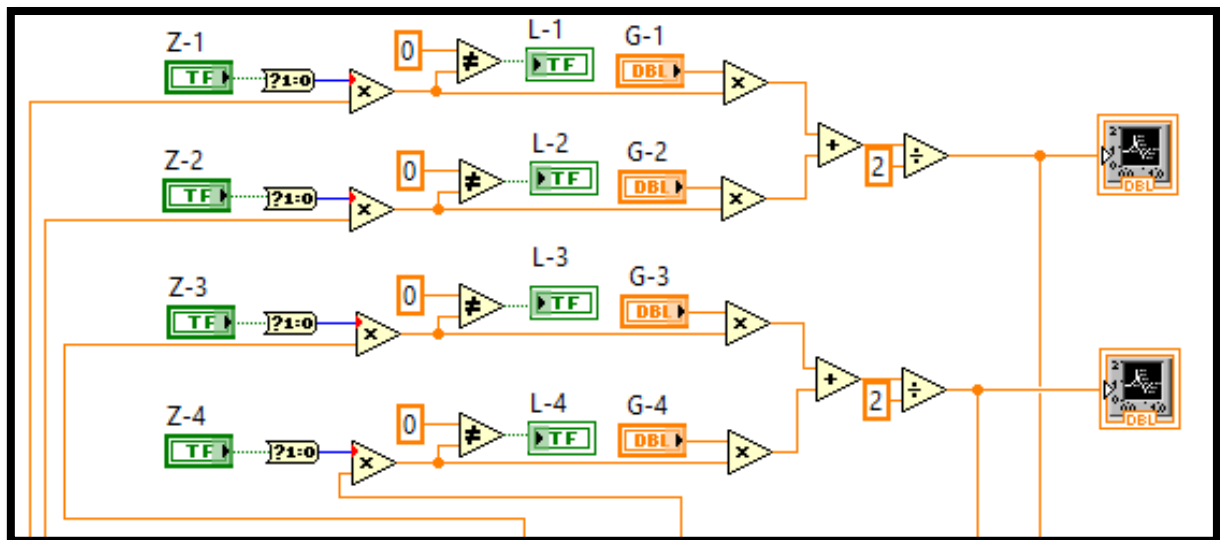
Anexo 10: “Programación de la adquisición de datos a través de arduino”



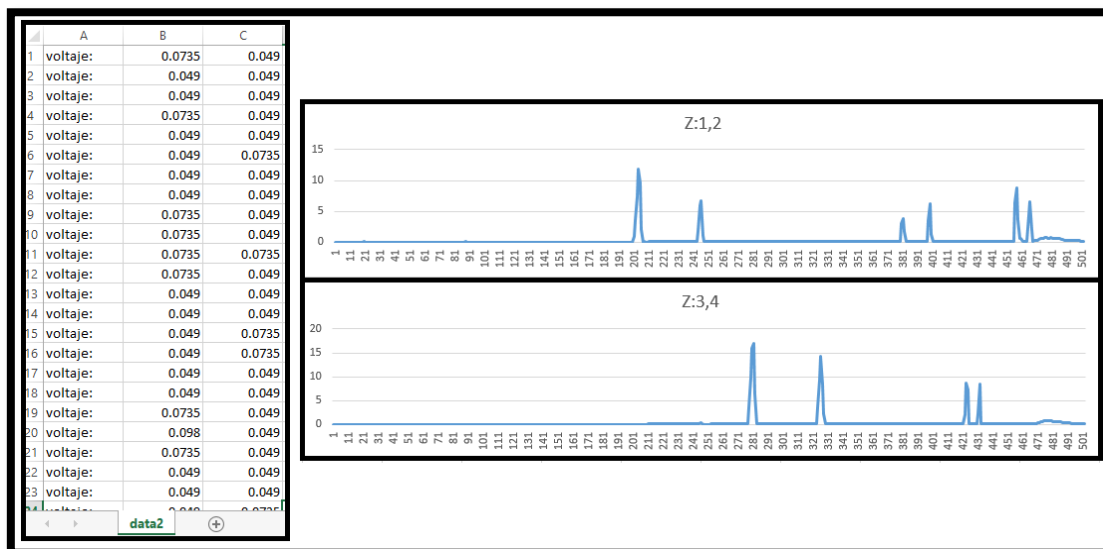
Anexo 11: “Prueba de simulación con arduino en la adquisición de datos, verificado con multítester.”



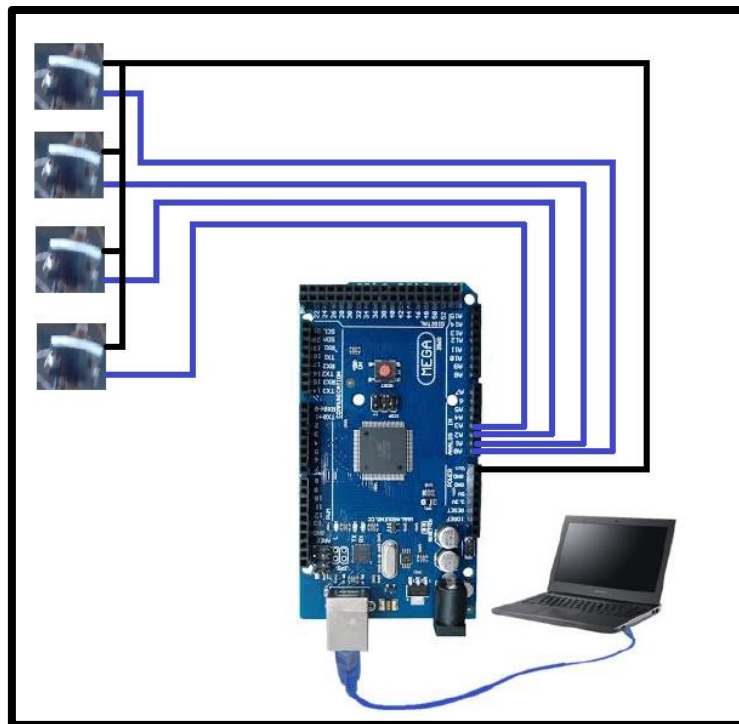
*Anexo 12: “Diagrama de bloques de Procesamiento de señales”.*



*Anexo 13: “Almacenamiento de valores en Excel”.*



*Anexo 14: “Conexión de entradas analógicas”.*



*Anexo 15: “Pruebas de inspección electromagnética con el sistema digital”.*

